

# acueducto pretensado sobre el arroyo de el gato

M. A. RUIZ DE AZÚA Y MURGÍA, y J. M. MORÓN GARCÍA,  
ingenieros de caminos

562 - 101

## sinopsis

La obra que se relata está ubicada en el canal principal del sector VII de la zona regable del Bembézar (Sevilla). Tiene 512,5 m de longitud (25 vanos de 20,50 m), además de los dos acuerdos de acceso, de 13 m cada uno.

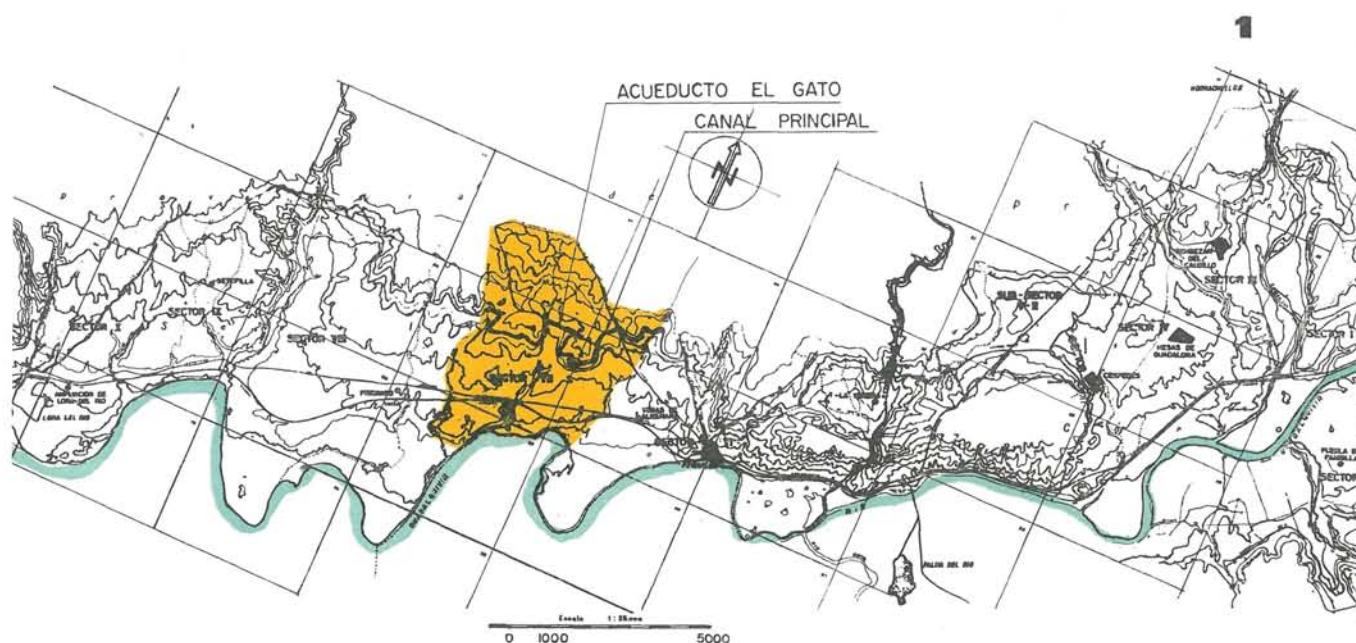
La solución adoptada fue la clásica de cajeros resistentes con losa inferior de solera y tirantes entre las cabezas superiores, empleándose el hormigón pretensado por asegurarse así la impermeabilidad del conjunto, además de obtener una economía del 12 por 100 respecto a los tipos tradicionales de hormigón armado.

## introducción

El acueducto, del que nos vamos a ocupar seguidamente, está situado en el canal principal del sector VII de la zona regable del Bembézar (provincia de Sevilla), salvando el amplio valle del arroyo de El Gato.

La zona regable del río Bembézar afecta a una superficie de 20.000 Ha situada en las provincias de Córdoba y Sevilla, en los términos municipales de Hornachuelos, Posadas, Palma del Río y Fuente Palmera (Córdoba), y Peñaflores, Lora del Río y Alcolea del Río (Sevilla).

La situación y división en sectores se indica en la figura 1, donde se han resaltado el sector VII, el canal principal de este sector y tramo en acueducto del mismo.



La zona se riega con aguas procedentes de los ríos Bembézar, Retortillo y Guadalvarcar (afluentes de la margen derecha del Guadalquivir), en los que se han proyectado embalses de cabecera que regulan el nivel del agua en las presas de derivación situadas en dichos ríos.

Fundamentalmente hay dos canales de distribución:

- a) el de la margen izquierda del río Bembézar (sectores I, II y XII), alimentado sólo por este río;
- b) el de la margen derecha del río Bembézar (sectores III al XI y XIII al XV), alimentado por los ríos Bembézar, Retortillo y Guadalvarcar.

En el canal principal de la margen derecha se pueden distinguir los siguientes tramos:

- a) canal principal de los sectores III, IV y V (situado en la provincia de Córdoba y alimentado sólo por aguas del río Bembézar);
- b) canal principal de los sectores VI, VII y VIII (situado en la provincia de Sevilla y alimentado por aguas del río Retortillo y las sobrantes del tramo anterior);
- c) canal principal de los sectores IX y X al XV (situado en la provincia de Sevilla y alimentado por aguas del río Guadalvarcar y las sobrantes del tramo anterior).

El canal principal del sector VII tiene en su trazado el accidente fundamental de la vaguada del arroyo de El Gato.

## **1. Justificación de la solución adoptada**

Cabían varias soluciones para salvar la vaguada:

- a) terraplén;
- b) acueducto;
- c) sifón.

Los grandes terraplenes (15 m en este caso) no parecían aconsejables, aparte de las medidas de precaución que había que adoptar en cuanto a desagües bajo el canal, que hubiesen aumentado el coste del mismo.

De las dos soluciones restantes, se eligió la de acueducto, por cuanto el coste del sifón oscilaba entre el 10 y el 15 % por encima del correspondiente al acueducto.

La solución que se adoptó fue la clásica de cajeros resistentes con losa inferior de solera y tirantes entre las cabezas superiores.

Se llegó a la solución de hormigón pretensado, ya que aseguraba la impermeabilidad del conjunto y además representaba, en los tanteos hechos, una economía del 12 % respecto a los tipos clásicos de hormigón armado.

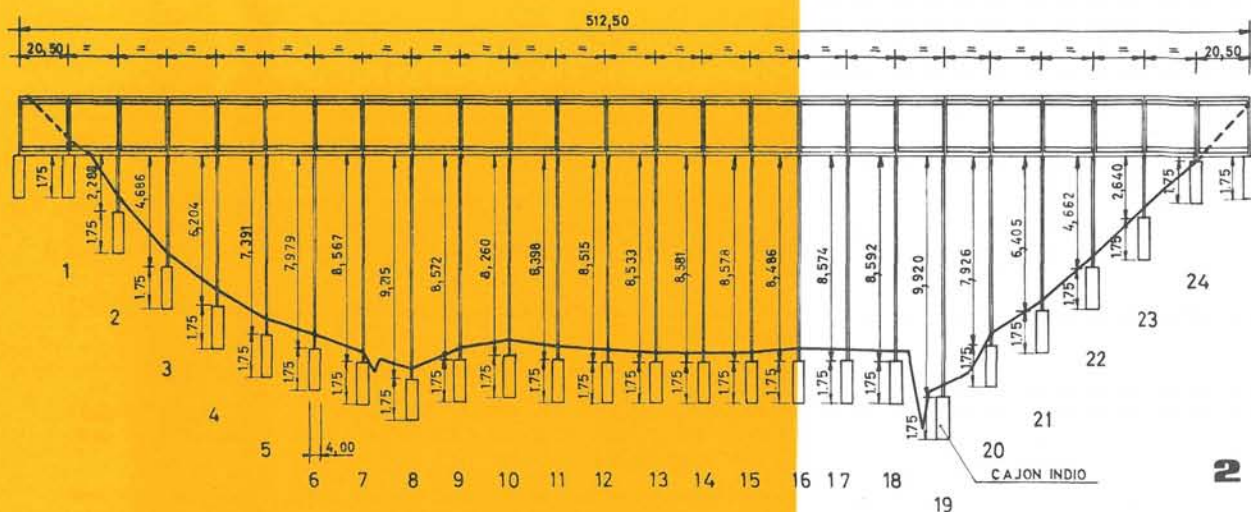
La luz adoptada ha sido de 20,50 m, aunque se estudió la posibilidad de aumentar la luz a salvar con cada vano, creyéndose oportuno fijarla en aquella cifra por las limitaciones impuestas por el peso de los elementos que hay que prefabricar y montar.

## **2. Características del acueducto**

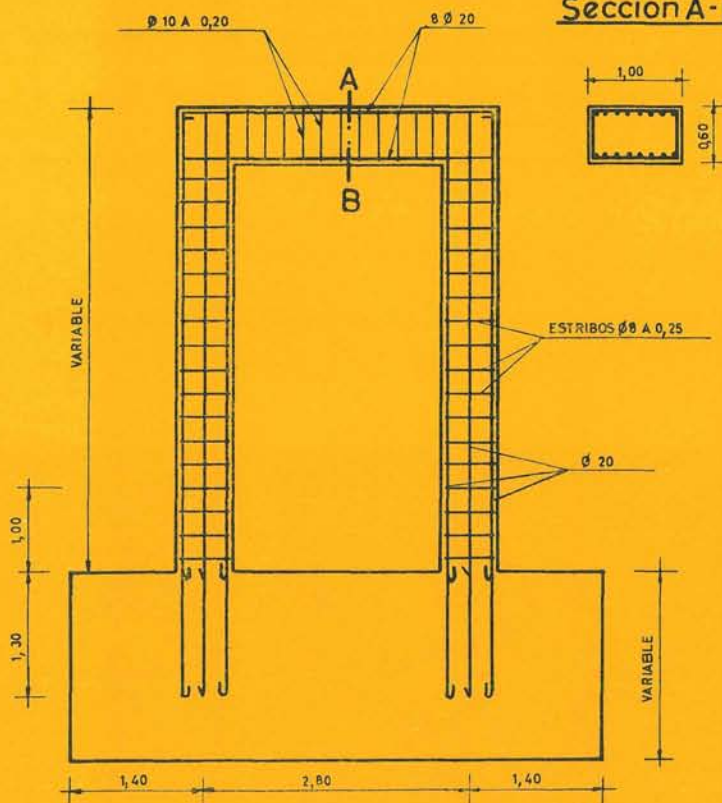
El acueducto tiene una longitud de 512,50 m (25 vanos de 20,50 m), completándose con los dos acuerdos de entrada y salida del mismo, de 13,00 m cada uno, que dan una longitud total de 538,50 metros.

El caudal que circula es de 6,6 m<sup>3</sup>/s en una sección hidráulica rectangular de 2,60 m de anchura por 1,70 m de calado. La pendiente es de 0,0006.

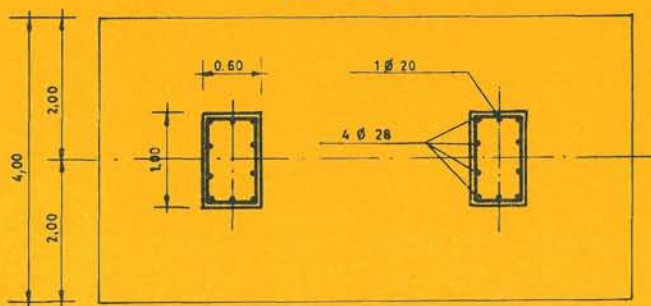
## alzado



## Seccion A-B



## Planta



### 2.1. Cimentación

La cimentación de las pilas está formada por zapatas de hormigón en masa de  $5,60 \times 4,00$  m, recogiendo los dos pilares que constituyen cada pórtico de apoyo. La profundidad de excavación es variable (dentro del orden de los 3,00 m), llegando en todos los casos a un terreno margoso de resistencia suficiente; sólo hubo problema especial en la zapata 19, que es la más próxima al arroyo, donde hubo que hacer la excavación con ayuda de un cajón indio.

### 2.2. Apoyos

Cada apoyo está constituido por un pórtico de hormigón armado. Los pilares tienen una sección de  $1,00 \times 0,60$  m, y el dintel es también de  $1,00 \times 0,60$  metros.

La separación entre ejes de pilares es también de 2,80 metros.

La distancia entre apoyos es, como dijimos, de 20,50 metros.

La altura máxima de los pórticos ocurre en el apoyo 19, con 9,92 metros.

Los tramos apoyan en los pórticos a través de cuatro placas de neopreno de  $200 \times 250 \times 1$  (8 + 2).

## pilas y zapatas



### 2.3. Tramos

Están constituidos por dos vigas-cajeros de hormigón armado pretensado, sobre las que apoya la solera, también de hormigón armado pretensado; recogiendo las cabezas superiores de las vigas hay unos montantes de hormigón armado. Las vigas-cajeros descansan en los apoyos a través de las placas de neopreno citadas.

Las vigas son en doble T, teniendo una longitud de 20,50 m, una altura de 2,50 m, un espesor de alma de 0,20 m y dos cabezas de 0,60 m de anchura por 0,20 m de espesor, acordadas con triángulos de  $0,20 \times 0,20$  al alma de la viga, que va rigidizada en los cuatro puntos, en que hay un montante en la cabeza superior de unión con su viga gemela.

La armadura de pretensado longitudinal de estas vigas está formada por cinco cables rectos de  $12 \varnothing 5$  y cuatro cables de directriz parabólica, también de  $12 \varnothing 5$ .

Las cargas son 2,412 t/m de peso propio + sobrecarga muerta y 2,21 t/m de sobrecarga de agua.

Las tensiones extremas resultantes con el pretensado indicado son de 38,9 kg/cm<sup>2</sup> de compresión máxima en la fibra superior de la viga en la sección central (con toda la sobrecarga), y de 2,9 kg/cm<sup>2</sup> de compresión mínima en este mismo punto (sin sobrecarga).

Es evidente que la sección no está aprovechada y que podría haberse llegado a luces mayores; sin embargo, hay que hacer notar que ya con la luz adoptada cada viga pesa 38 t, que se puede considerar como límite para ser manejada con medios normales de obra.

La solera está pretensada transversalmente al acueducto con dos cables rectos de  $12 \varnothing 5$  por metro lineal de acueducto. Los anclajes de estos cables están alojados en las vigas longitudinales.

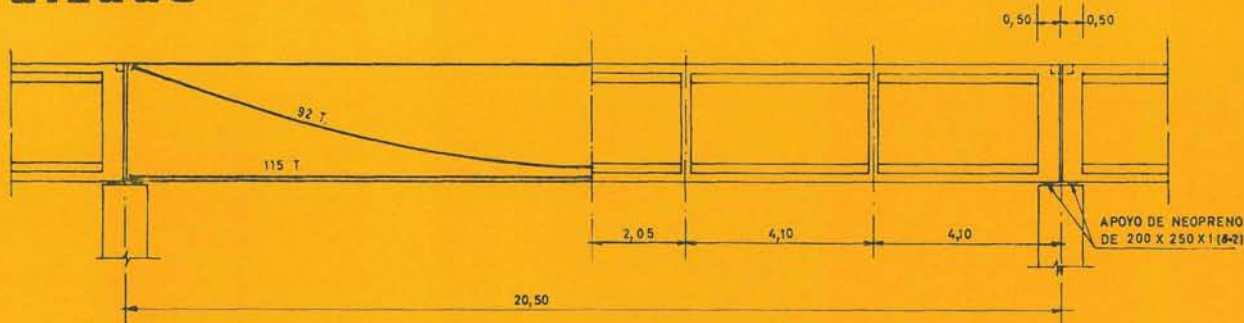
Las tensiones extremas en la unión de solera-viga son, bajo carga, de 5,3 kg/cm<sup>2</sup> en la cara del agua y 23,9 kg/cm<sup>2</sup> en la cara inferior. Esto asegura la estanquidad del acueducto.

Los montantes de arriostramiento de las cabezas de las vigas son de hormigón armado de  $20 \times 20$  centímetros.

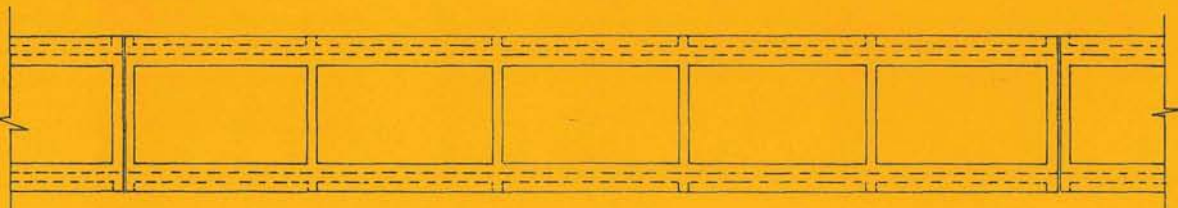
### 2.4. Juntas

Sobre cada apoyo se produce una junta entre los tramos adyacentes. La junta adoptada es una chapa de cobre retacada con mástique.

#### alzado



#### planta



#### vano

Technical drawing of a reinforced concrete slab (Losa) showing dimensions, reinforcement details, and material specifications.

**Dimensions:**

- Overall width: 2,20
- Overall length: 0,20 + 0,20 + 0,20 + 0,60 = 1,40
- Internal width: 0,63
- Internal length: 1,08
- Bottom reinforcement spacing: 0,11, 0,13, 0,14, 0,10, 0,63

**Reinforcement Details:**

- Top Reinforcement:**
  - 4  $\varnothing 14$  (top corners)
  - $\varnothing 10$  (top edge)
  - $\varnothing 10$  CADA 0,30 (top edge)
  - $\varnothing 10$  CADA 0,25 (top edge)
  - $\varnothing 10$  CADA 0,125 (top edge)
- Bottom Reinforcement:**
  - ESTRIBOS  $\varnothing 10$  (bottom edge)
  - TALADRO CADA 0,50 (bottom edge)
  - $\varnothing 10$  CADA 0,25 (bottom edge)
  - $\varnothing 8$  CADA 0,25 (bottom edge)
  - 6  $\varnothing 10$  POR M.L. (bottom edge)
  - CABLES CON 12  $\varnothing 5$  (23 T.) (bottom edge)
  - CABLES CON 3  $\varnothing 5$  (6 T.) (bottom edge)

**Material Specifications:**

- Concrete: C-20
- Reinforcement: A-60

**Notes:**

- 1. Verificar la cantidad de acero en la losa.
- 2. Verificar la cantidad de acero en la losa.

**Scale:** 1:20

**Sheet Number:** 5

Vamos a describir la ejecución del acueducto en cada una de sus fases:

Se realizó con los medios tradicionales, dada la sencillez de la misma.

Para la ejecución de estos pilares consideramos las fases siguientes:

La preparación de las armaduras de pilares se efectuó a pie de obra, dada la altura de aquéllos, que hubiese hecho difícil el transporte de las barras desde la factoría al tajo.

Con objeto de facilitar el montaje se formó en el suelo la armadura de cada pilar totalmente (barras longitudinales y cercos), agregándole en las caras y exteriormente barras  $\varnothing 20$  para formar en aquéllas una triangulación. Estas barras diagonales y los cercos que hacen de montantes iban soldados a las barras longitudinales de esquina.



### b) montaje de armaduras de pilares

Una vez preparado el conjunto de armaduras del pilar formando una pieza única, se trasladaba al emplazamiento para proceder al izado y colocación en su posición definitiva. Esta operación se realizó con la ayuda de un mástil de madera de 7,50 m de altura convenientemente venteado.

La armadura subía con vientos previstos en su extremo superior, para llevarla, ayudándose de ellos, hasta su posición final.

Una vez colocada verticalmente la armadura en su emplazamiento definitivo se soldaban las barras longitudinalmente a los anclajes, previamente dispuestos en la cimentación. Los vientos de la armadura se mantenían durante el hormigonado de modo que no estorbaban a éste y se retiraban cuando quedaban 4,00 m de pilar por hormigonar. El mástil se retiraba al estar soldada la base de la armadura.

### c) ejecución del hormigonado

El equipo de encofrados y andamiajes estaba previsto para poder hormigonar diariamente en seis parejas de pilares, avanzando en cada una 1 m/día.

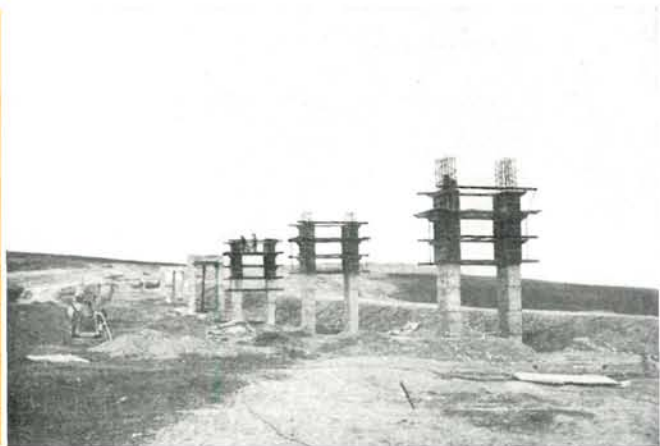
Se ha perseguido en el proyecto de encofrado y andamiaje fundamentalmente que el obrero trabajase con la máxima seguridad, por lo que todas las operaciones de desencofrado y encofrado sucesivos se estudiaron previamente en todos sus detalles. El encofrado sirve a la vez de apoyo de las plataformas de trabajo, por lo que se prescindió de castilletes rodeando las parejas de pilares; sin embargo, las plataformas estudiadas envolvían totalmente ambos pilares. Todos los elementos se izaban a mano, a lo sumo por dos hombres, pues se procuró reducir el peso de cada pieza lo más posible.

### 3.3. Plan general de ejecución del cajero

Las vigas pretensadas se construyen en el suelo, justamente bajo la posición definitiva, de modo que para colocarlas en ésta sólo es necesario efectuar una elevación y un pequeño movimiento transversal al acueducto. Se ejecutan sobre una solera de hormigón enlucido, prefabricando previamente las cabezas. El en-

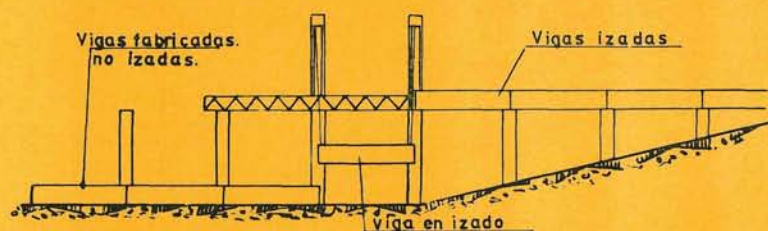
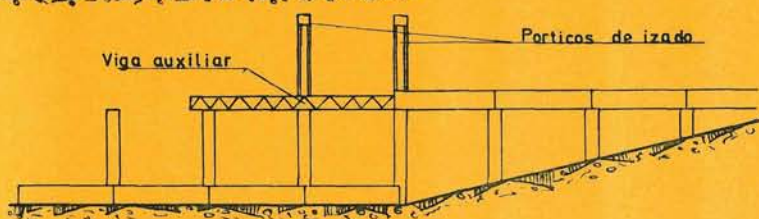
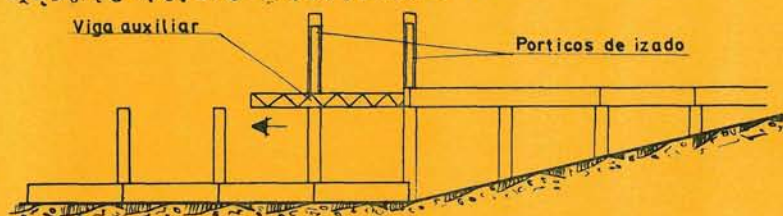
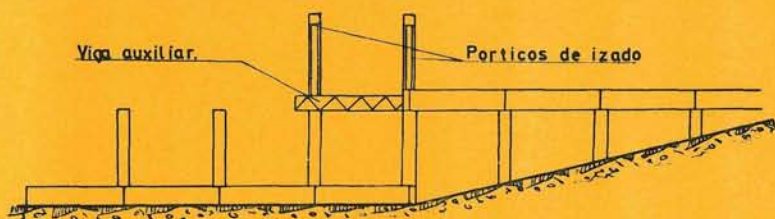
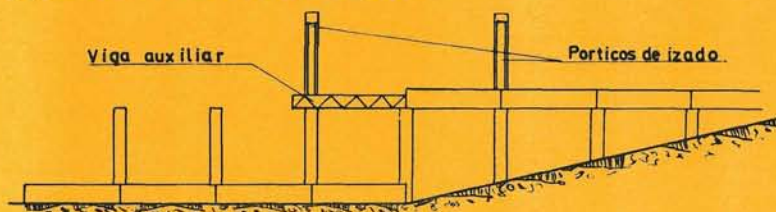
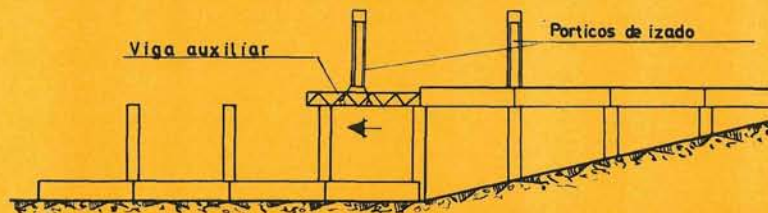
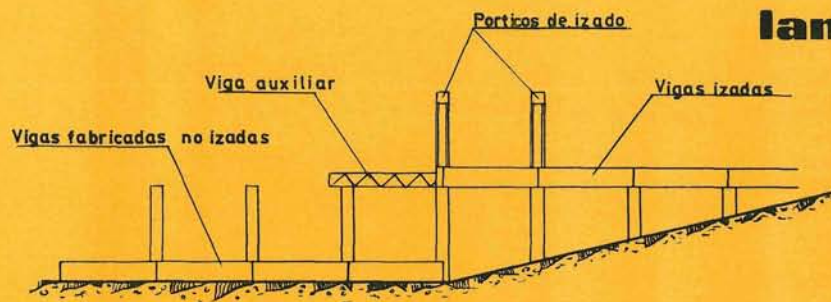


6



7

# lanzamiento



FASE DE CORRIMIENTO  
DE LOS PORTICOS DE  
IZADO.

FASE DE LANZAMIENTO  
DE LA VIGA AUXILIAR.

FASE DE IZADO DE  
VIGAS.

cofrado es metálico. Se lleva un control de probetas de cada viga, efectuándose el pretensado y la inyección de los cables longitudinales cuando la resistencia alcanzada por las probetas es al menos de  $200 \text{ kg/cm}^2$ . Posteriormente se realiza el izado.

Una vez colocadas en su posición definitiva las dos vigas que constituyen el cajero de un vano se procede a la colocación de la solera, también prefabricada en piezas de  $0,50 \text{ m}$  de longitud, recibidas con mortero y pretensadas longitudinalmente para dar una presión de  $5 \text{ kg/cm}^2$  en las juntas.

El hormigonado de las riostras superiores se hace después del pretensado de la solera.





Analizamos seguidamente las distintas operaciones de construcción:

#### **a) fabricación de las cabezas**

Se fabricaron con dos moldes metálicos que tienen simetría especular; uno para la cabeza izquierda y otro para la derecha de cada viga.

El hormigonado se hizo en la factoría central que la Empresa Constructora montó en Palma del Río, transportando y colocando la pieza en obra con un camión grúa.

En estas cabezas se alojan los conos de anclajes y las placas para arriostramiento previo de la viga y colocación posterior de las vigas riostra superiores. Se dejaron previstas horquillas de  $\varnothing 30$  para el izado posterior de las vigas.

#### **b) encofrado de vigas**

El encofrado de las vigas es metálico y se compone de veinte paneles, yendo atornillados entre sí los adyacentes y referidos mediante pasadores los de ambas caras. Los paneles extremos remontan 10 cm en la cabeza prefabricada. Los paneles son de chapa de 4 mm rigidizada con perfiles. Cada panel lleva varios alojamientos previstos para moldear los cajetines de los anclajes del pretensado transversal de solera. Sensiblemente estos cajetines van cada 0,50 m. En la viga hay que prever el agujero de  $\varnothing 40$  mm correspondiente. Aprovechamos estos puntos para disponer pasadores de unión entre las parejas de paneles exteriores e interiores y para situar allí los elementos rigidizadores principales.

#### **c) hormigonado de vigas**

El hormigonado se hizo por los medios clásicos con la hormigonera a pie de viga y la puesta en obra con una cinta transportadora auxiliar. El vibrado se hizo con vibradores de aguja de 40 mm y con vibradores de encofrado, simultáneamente.

El pretensado se hizo por el sistema Freyssinet, suficientemente conocido, por lo que no nos detendremos en detalles sobre el mismo. Se dejaron chapas ancladas para el arriostramiento posterior de las vigas, después del montaje, mientras se hormigonan las riostras y la solera.

### **3.4. Izado de vigas**

Las vigas-cajeros se izan con diferenciales manuales colgados de unos carretones que pueden correr sobre un pórtico metálico colocado sobre las pilas del acueducto. Las dos vigas de cada tramo se levantan simultáneamente, y se desplazan transversalmente hasta su posición definitiva, también simultáneamente.

Para levantar las vigas de cada tramo hay que cambiar la posición de los dos pórticos, lo cual se realiza con una viga metálica de celosía auxiliar, de 46 m de longitud, que se lanza ganando cada vez un nuevo vano.

Una vez izada cada pareja de vigas se corren los pórticos metálicos a la posición siguiente rodando sobre la viga metálica auxiliar. Antes de cada izado se lanza previamente esta viga al tramo siguiente.

### **3.5. Solera**

Sobre las vigas ya montadas y arriostradas se cuelga un carro, que servirá para disponer la plataforma móvil de maniobra para el pretensado transversal de solera y la inyección posterior de estos cables.

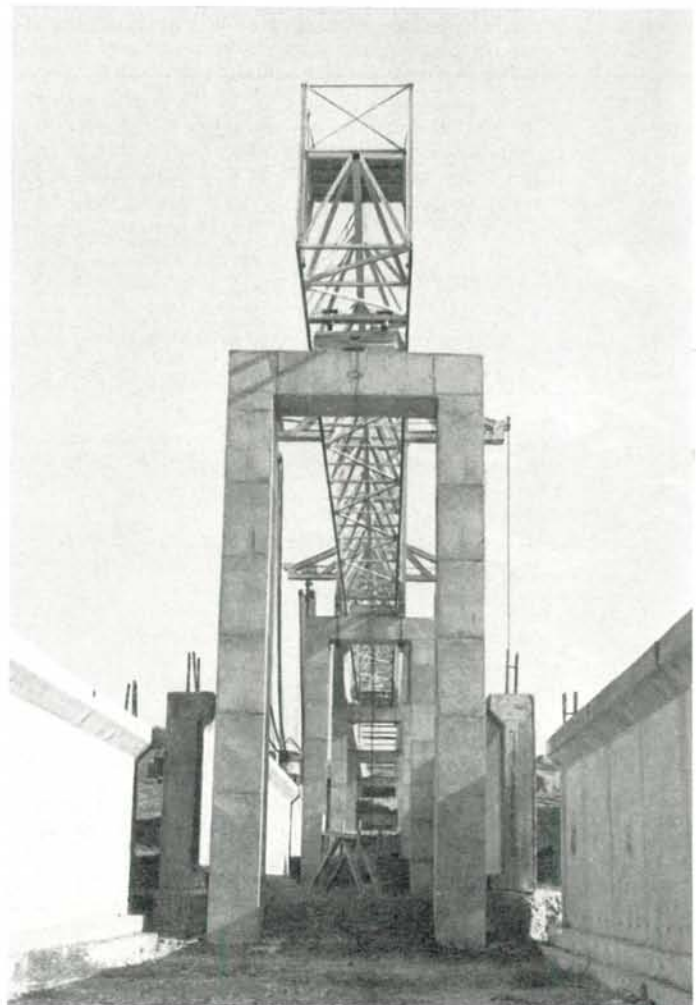
La solera se fabrica en piezas de  $2,60 \times 0,50$  m en la factoría principal y se transportan a obra, colocándolas en su posición definitiva con un diferencial manual. Cada pieza, al colocarla, se recibe con un mortero que tiene en su composición un hidrófugo, y se colocan simultáneamente los cables de pretensado longitudinal y transversal de la solera.



10



12



11



13  
14



15



16

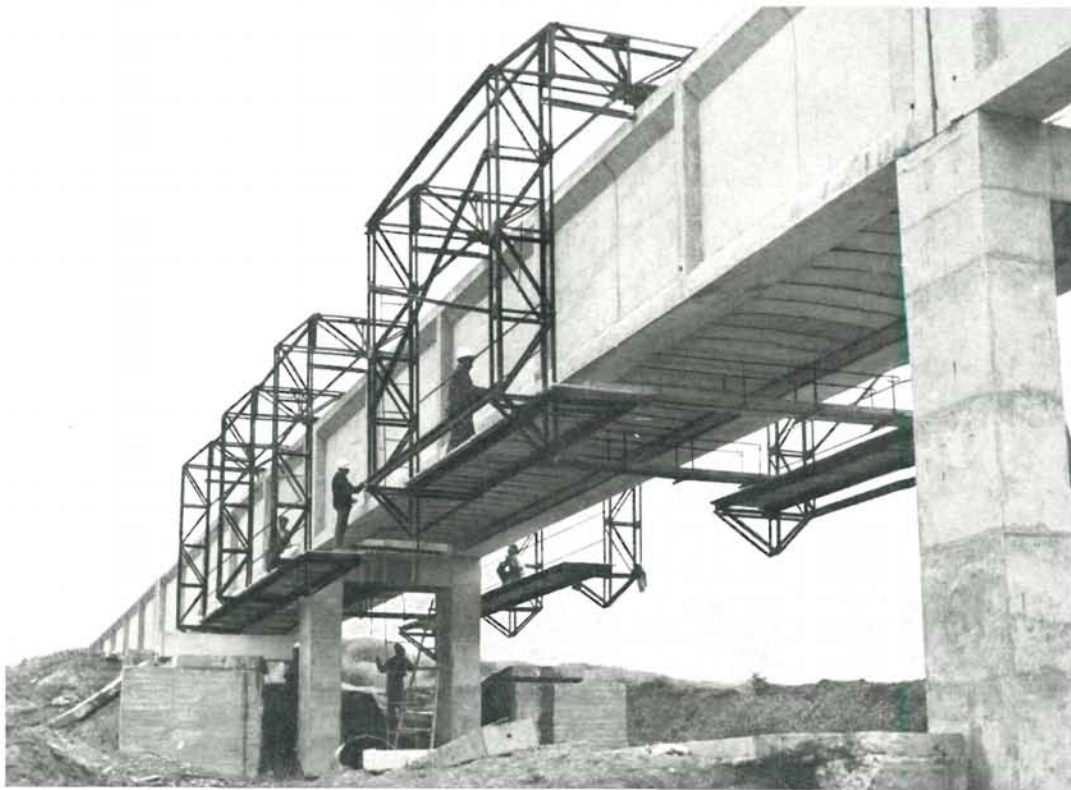


17



18





19

Desde la plataforma móvil exterior al acueducto se realiza el pretensado transversal y la inyección de los cables.

Esta plataforma va avanzando a lo largo del acueducto, llevando un desfase de unos tres vanos con relación al equipo de izado.



20

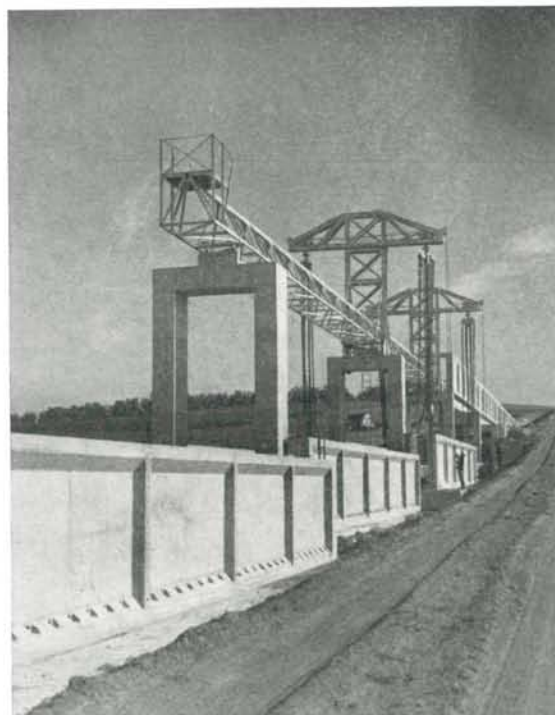


21

22

#### 4. Resumen

Este acueducto se halla en construcción todavía, estando acabada ya la fabricación de las vigas y en marcha el izado de éstas y la colocación y pretensado de la solera. La obra depende de la Segunda Sección de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. La Empresa constructora es Dragados y Construcciones, S. A.



81

### **Aqueduc en béton précontraint sur le ruisseau "El Gato"**

M. A. Ruiz de Azúa y Murgía et J. M. Morón García, ingénieurs

L'ouvrage ici présenté est situé sur le canal principal du secteur VII de la zone d'irrigation, du Bembézar à Séville. Sa longueur est de 512 m 5 (25 travées de 20 m 50), en plus des deux zones d'accès de 13 m chacune.

La solution de cet ouvrage est la classique de caissons résistants à dalle inférieure de radier et tirants entre les traverses supérieures. Le béton précontraint a été utilisé afin d'assurer l'étanchéité de l'ensemble, en plus d'obtenir une économie du 12 % par rapport aux types traditionnels en béton armé.

---

### **Prestressedd aqueduct over "El Gato" stream**

M. A. Ruiz de Azúa y Murgía & J. M. Morón García, architects

This project is located on the main canal of the VII sector of the Bembezar (Seville) irrigated zone. It is 512.5 m long, consisting of 25 spans, each 20.50 m long. There are, in addition, two approach aqueducts, each of them 13 m in length.

The arrangement adopted was the classical one, of structural boxes, with a lower slab, and tie members between the top chords. Prestressed concrete was used, to ensure the watertightness of the canal, as well as achieving a 12 % reduction in cost with respect to traditional designs in reinforced concrete.

---

### **Vorgespannter Aquädukt ueber dem Bach "El Gato"**

M. A. Ruiz de Azúa y Murgía und J. M. Morón García, Ingenieure

Das Werk liegt über dem Hauptkanal des 7. Sektors der Bewässerungszone des Bembezar Flusses (Sevilla). Der Aquädukt hat 512,5 m Länge (25 Oeffnungen von 20,50 m), ausserdem die zwei Zugänge je von 13 m.

Die angenommene Lösung war die klassische von festen Leitmauern mit Untergrundplatte und Zugstäbe unter den Oberköpfen. Man benutzt den vorgespannten Beton, um die Wasserundurchlässigkeit des Komplexes zu versichern. Damit erhält man ein Sparen von 12 % hinsichtlich der traditionellen Typen von Stahlbeton.